

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 01-100242

(43)Date of publication of application : 18.04.1989

(51)Int.Cl.

C22C 38/00

C22C 38/10

(21)Application number : 62-258157

(71)Applicant : TDK CORP

(22)Date of filing : 13.10.1987

(72)Inventor : YAJIMA KOICHI  
YONEYAMA TETSUTO

## (54) PERMANENT MAGNETIC MATERIAL

## (57)Abstract:

PURPOSE: To manufacture the titled material having high orientation degree and showing high coercive force and high energy product by subjecting an alloy consisting of specific ratios of rare earth elements, Fe, Co, Ti, V, Cr, Zr, Nb, etc., to high-speed cooling.

CONSTITUTION: The alloy molten metal consisting of the compsn. shown by  $R_xT_{100-x-y-z}$  (R denotes one or more kinds among rare earth elements including Y, T denotes Fe or Fe and Co, M denotes at least one kind among Ti, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta and W as well as  $5 \cdot x \cdot 9$ ,  $6 \cdot y \cdot 14$  and  $0 \cdot z < 2$  are regulated) is prepd. Said alloy molten metal is cooled and solidified at a high speed by a melt-quenching method into a thin strip or powder contg. the main phase of a tetragonal system's crystal structure. By this method, the titled material having good magnetization characteristics and corrosion resistance and having good stability is obtd.

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

## ⑫ 公開特許公報(A)

平1-100242

⑬ Int. Cl.<sup>4</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 平成1年(1989)4月18日

C 22 C 38/00  
38/10

3 0 3

D-6813-4K

審査請求 未請求 発明の数 1 (全8頁)

⑮ 発明の名称 永久磁石材料

⑯ 特 願 昭62-258157

⑰ 出 願 昭62(1987)10月13日

⑱ 発 明 者 矢 島 弘 一 東京都中央区日本橋1丁目13番1号 ティーディーケイ株式会社内

⑲ 発 明 者 米 山 哲 人 東京都中央区日本橋1丁目13番1号 ティーディーケイ株式会社内

⑳ 出 願 人 ティーディーケイ株式会社 東京都中央区日本橋1丁目13番1号

㉑ 代 理 人 弁理士 石井 陽一

明 細 書

図第1項または第2項に記載の永久磁石材料。

## 1. 発明の名称

永久磁石材料

## 3. 発明の詳細な説明

## 2. 特許請求の範囲

(1)  $R_xT_{1.00-x-y-z}ByM_z$  (但し、RはYを含む希土類元素の1種以上、TはFeまたはFeおよびCo、 $5 \leq x \leq 9$ 、 $6 \leq y \leq 14$ 、 $0 \leq z < 2$ 、MはTi、V、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、TaおよびWの少なくとも1種以上)の組成を有し、高速急冷により得られたことを特徴とする永久磁石材料。

(2) 実質的に正方晶系の結晶構造の主相を有する特許請求の範囲第1項に記載の永久磁石材料。

(3) 永久磁石材料が薄帯である特許請求の範囲第1項または第2項に記載の永久磁石材料。

(4) 永久磁石材料が粉体である特許請求の範囲

## I 発明の背景

## 技術分野

本発明は各種電気機器等に使用される高性能永久磁石に用いる永久磁石材料、特に希土類元素を含むFe-R-B系(RはYを含む希土類元素である、以下同じ)およびFe-Co-R-B系の合金系の急冷磁石材料に関する。

## 先行技術とその問題点

高性能を有する希土類磁石としては、粉末冶金法によるSm-Co系磁石でエネルギー積として、32 MGOeのものが量産されている。

しかし、このものは、Sm、Coの原料価格が高いという欠点を有する。希土類の中では

原子量の小さい希土類元素、たとえばセリウムやプラセオジウム、ネオジウムはサマリウムよりも豊富にあり、価格が安い。また、Feは安価である。

そこで、近年Nd-Fe-B系磁石が開発され、特開昭59-46008号公報では、焼結磁石が、また特開昭60-9852号公報では、高速急冷法によるものが開示されている。

焼結法による磁石では、従来のSm-Co系の粉末冶金プロセスを適用出来るものの、酸化しやすいNd-Fe系合金インゴットを2~10 $\mu$ m程度に微粉末化する工程を有するため、取り扱いが難しいこと、あるいは粉末冶金プロセスは工程数が多い(溶解→鑄造→インゴット粗粉碎→微粉碎→プレス→焼結→磁石)ため安価な原料を用いるという特徴を生かせない面がある。

一方、高速急冷法による磁石では工程が簡素化され(溶解→高速急冷→粗粉碎→冷間プレス

温度係数が大きいところに実用上の問題があることは従来より知られており、保磁力の絶対値が大きい磁石の出現が望まれている(日経ニューマテリアル、1986、4-28(No.9)第80頁)。

特開昭60-9852号公報には、R-B-Fe合金に液体急冷法により高い保磁力iHcとエネルギー積を具備させる旨の提案がなされている。これに開示された組成は、特許請求の範囲に記載されているように希土類元素R(Nd、Pr)=10%以上、B=0.5~10%、残部Feからなるものである。従来R-B-Fe合金が優れた磁石特性を有するのはNd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B相化合物によるものと説明されている。そのため焼結法および高速急冷法共に磁石特性を改良するための多くの提案(特開昭59-89401号、同60-144906号、同61-79749号、同57-141901号、同61-73861号公報)がなされているが、対象とする合金は

(温間プレス)→磁石)、かつ微粉末化工程を必要としないという利点がある。しかしながら、高速急冷法による磁石を工業材料とするためには一層の高保磁力化、高エネルギー積化、低コスト化、着磁特性の改良等が望まれている。

希土類-鉄-ホウ素永久磁石の諸特性の中で保磁力は温度に鋭敏であり、希土類コバルト永久磁石の保磁力(iHc)の温度係数が0.15%/℃であるのに対して、希土類-鉄-ホウ素永久磁石材料の保磁力(iHc)の温度係数は0.6~0.7%/℃と4倍以上高いという問題点がある。したがって、希土類-鉄-ホウ素永久磁石材料は温度上昇に伴って減磁する危険が大きく、磁気回路上での限定された設計を余儀なくされている。さらには、例えば、熱帯で使用する自動車のエンジンルーム内の部品用永久磁石としては使用不可能である。

希土類-鉄-ホウ素永久磁石材料は保磁力の

この化合物に該当する組成の近傍、すなわち、R=12~17%、B=5~8%の範囲のものであり、このような合金の実験に基づいている。希土類元素は高価であり、その含有量を低下させることが望まれる。しかし希土類元素の含有量が12%未満になると、保磁力iHcが急激に劣化するという問題がある。実際、特開昭60-9852号ではR=10%となるとiHcは5kOe以下になることが示されている。すなわち、R-B-Fe系合金において希土類元素の含有量が12%未満になると、保磁力iHcが劣化することが知られているが、このような組成範囲において保磁力iHcの劣化を防止するように組成ならびに組織を設計する方法は従来知られていなかった。

焼結法と高速急冷法においては、基本的にNd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B化合物を用いているが、応用物理第55巻、第2号(1988)頁121に示されているように、上記磁石は単なる製法の違いだけではなく両磁石は合金組織と保磁力発生機構の

観点から全く異なったタイプの磁石である。  
すなわち焼結磁石は結晶粒径が約 $10\mu\text{m}$ であり、従来の $\text{Sm-Co}$ 系磁石で言えば、逆磁区の核発生が保磁力を決める $\text{SmCo}_5$ 型磁石のようなニュークリエーション型であり、一方高速急冷磁石は $0.01\sim 1\mu\text{m}$ の微細粒子をアモルファス相が取り囲んだ極めて微細な組織により磁壁のピン止めが保磁力を決定する $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 型磁石のようなピンニング型磁石である。それゆえ、特性向上のための両磁石へのアプローチの考え方としては保磁力発生機構が十分異なることを考慮して検討する必要がある。

そこで、本発明者等は、所定の組成を有し、微結晶相あるいは微結晶とアモルファス相との混相からなる永久磁石材料を用いた永久磁石（特願昭62-90709号）、および、所定の組成を有し、実質的に正方晶系の結晶構造の主相のみを有するか、あるいはこのような主相と非晶質および／または結晶質のRプアな副相

（但し、RはYを含む希土類元素の1種以上、TはFeまたはFeおよびCo、 $5\leq x\leq 9$ 、 $6\leq y\leq 14$ 、 $0\leq Z\leq 2$ 、MはTi、V、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、TaおよびWの少なくとも1種以上）の組成を有し、高速急冷により得られたことを特徴とする永久磁石材料である。

#### IV 発明の具体的構成

以下、本発明の具体的構成について詳細に説明する。

本発明の永久磁石材料は、前記のような組成を有する。

Rについてさらに説明すれば、RはYを含む希土類元素の1種以上で、特に $\{R'_1(\text{Ce}_b\text{La}_{1-b})_{1-a}\}_{1-a}$ で表わされるものであることが好ましい。

この場合R'はCe、Laを除き、Yを含む希土類元素の1種以上、 $0.80\leq a\leq 1.00$ 、 $0\leq b\leq 1$ である。

とを有し、かつ主相と副相との体積比が所定の範囲内に規定された永久磁石材料から形成された永久磁石（特願昭62-191380号）を提案している。

しかし、これらの永久磁石材料は配向度が不十分であり、磁気特性の良好な永久磁石を得るためには、配向度の高い永久磁石材料が望まれている。

#### II 発明の目的

本発明の目的は、高保磁力、高エネルギー積を示し、高性能で実用的であり、着磁特性および耐食性が良好で性能の安定性がよい永久磁石の材料として好適に用いることができる配向度の高い永久磁石材料を提供することにある。

#### III 発明の開示

このような目的は、下記の本発明によって達成される。

すなわち、本発明は、 $R_xT_{100-x-y-z}ByMz$

前記のような組成とするのは、希土類元素の量xが5未満であると配向度が低くなるばかりでなく、保磁力が低下し、エネルギー積が低下する。また、9を超えると保磁力は大きくなるが配向度が著しく低下する。

なお、好ましくは $6\leq x\leq 8$ である。

また $1-a$ が0.2をこえると最大エネルギー積が低下する。さらにはR'中にSmを含有させることもできる。ただし、Smの量は、xの20%以下とする。これは異方性化定数を低下させるからである。

なお、RとしてはNd、PrおよびDyが好適である。

Bの量yの値は、6以上14以下とする。yが6未満であると配向度および保磁力が低下する。

また、14を超えると配向度および残留磁化が低下する。

なお、好ましくは $8\leq y\leq 12$ である。

TはFe単独であってもよいが、CoでFe

を置換することで磁気性能が改善し、かつキュリー温度も改良される。しかし、TをFe<sub>1-c</sub>Co<sub>c</sub>としたとき、置換量cは0.7をこえると保磁力の低下をまねく。このためcは0~0.7である。

MはZr、Nb、Mo、Hf、Ta、W、Ti、VおよびCrの1種以上であるが、これらを追加することにより保磁力が高くなる他、結晶成長が抑制され、高温、長時間でも保磁力が劣化せず高い保磁力が得られる。

さらに、Cu、Ni、MnおよびAgの1種以上を追加することによって、磁気特性を劣化させることなく、塑性加工時の加工性を改善することが可能となる。

Mの総計量Zは0を含み2未満とする。Zが2以上であると配向度が低下する。

なお、配向度をより高めるためには、 $0 \leq Z \leq 1$ であることが好ましい。

またI<sub>Hc</sub>の増加のためには0.1以上のZが好ましく、耐食性を上昇させるためには0.5

以上が良好である。M元素を2種以上組合添加すると、単独添加の場合よりも保磁力I<sub>Hc</sub>向上効果が大きい。

なお、Bの50%以下をSi、C、Ga、Al、P、N、Se、S等で置換してもB単独と同様な効果を有する。また、製造上不可避免不純物として混入する酸素は2.5%程度まで許容できる。

このような組成は、原子吸光法、蛍光X線法、ガス分析法等によって容易に測定できる。

本発明の永久磁石材料は、実質的に正方晶系の結晶構造の主相のみを有するか、このような主相と、非晶質および/または結晶質のR<sub>2</sub>T<sub>14</sub>B副相とを有する。

R-T-B化合物として安定な正方晶化合物はR<sub>2</sub>T<sub>14</sub>B (R=11.76at%、T=82.36at%、B=5.88at%)であり、主相は実質的にこの化合物から形成される。そして、本発明では、後述する高速急

冷法によって薄体を得る際に、薄体の厚さ方向へのR<sub>2</sub>T<sub>14</sub>BのC軸の配向度を高めることができる。このような配向度の測定は、例えば以下のようにして行なうことができる。

#### (1) X線回折

等方性R<sub>2</sub>T<sub>14</sub>B化合物におけるC面の反射である(004)ピーク高さと、R<sub>2</sub>T<sub>14</sub>B粉体の最強ピークである(410)ピーク高さとの比(004)/(410)を求めることで配向性が確認できる。

この測定によれば、高速急冷に片ロール法を用いた場合、R<sub>2</sub>T<sub>14</sub>Bの組成ではロール面の値が0.1~0.3程度、フリー面の値が1.0~2.0程度であるのに対し、本発明の組成ではロール面では0.5以上、特に1.0以上の値が得られ、フリー面では3.0以上、特に5.0以上の値が得られる。

#### (2) 残留磁化(B<sub>r</sub>)の異方性測定

R<sub>2</sub>T<sub>14</sub>Bの配向方向の残留磁化(B<sub>r</sub>)と、これと垂直方向の残留磁化(B<sub>r</sub>')との

比B<sub>r</sub>/B<sub>r</sub>'。

なお、粉体についてB<sub>r</sub>/B<sub>r</sub>'を求めるためには、例えば、一方向磁界中でパラフィン内に粉体を分散して配向、固定し、これについてB<sub>r</sub>とB<sub>r</sub>'を測定すればよい。

このときのB<sub>r</sub>/B<sub>r</sub>'は、薄番である場合とはほぼ同等である。残留磁化の測定は、振動型磁力計等によればよい。

B<sub>r</sub>/B<sub>r</sub>'は、R<sub>2</sub>T<sub>14</sub>Bの組成では1.10程度未満であるのに対し、本発明の組成では1.10以上、特に1.2以上の値が得られ、製造条件にもよるが、5~6程度にも達する。

本発明において実質的に正方晶系の結晶構造の主相は過飽和にMが固溶した準安定なR<sub>2</sub>T<sub>14</sub>B相であり、その平均結晶粒径は0.01~3μm、好ましくは0.01~1μm、より好ましくは0.01~0.3μm未満である。このような粒径とするのは、0.01μm未満では結晶の不完全性のために保磁力I<sub>Hc</sub>

がほとんど発生しなくなり、 $3\mu$ をこえると、保磁力 $I_Hc$ が低下するからである。

また、本発明においては、このような主相のみならず、さらに非晶質および／または結晶質のRプアな副相を有してもよく、副相を有する方が好ましい。

副相は主相の粒界層として存在する。

Rプアな副相としては $\alpha Fe$ 、 $Fe-M-B$ 、 $Fe-B$ 、 $Fe-M$ および $M-B$ 系の非晶質または結晶質等が挙げられる。

この場合副相の粒界層の平均巾は $0.3\mu$ 以下、好ましくは $0.001\sim 0.2\mu$ であるといよい。

$0.3\mu$ をこえると、保磁力 $I_Hc$ が低下するからである。

本発明の永久磁石材料は、前記組成の $Fe-R-B$ および $Fe-Co-R-B$ 系の合金溶湯を、前記したように、いわゆる液体急冷法によって高速で冷却凝固させて得られる。

この液体急冷法は、水冷等により冷却された

め、ロール周速度 $20\sim 50\text{ m/s}$ においては $R_2Fe_{10}B_{10}$ 相の生成も認められるので、好ましい範囲は $3\sim 20\text{ m/s}$ である。

また、本発明においては、高速急冷により薄帯を製造した後、熱処理により磁気特性を制御してもよい。

熱処理は、不活性雰囲気もしくは真空中において $400\sim 850^\circ\text{C}$ の温度範囲にて $0.01\sim 100$ 時間程度焼鈍する。

上記のように回転冷却ロールの周速度を制御して前記組成の合金溶湯を急冷凝固させることによって、保磁力 $I_Hc$ が約 $10000\text{ Oe}$ まで、磁化 $\sigma$ が $85\sim 150\text{ emu/gr}$ の磁石が得られる。このように溶湯から直接急冷凝固させれば、極めて微細な結晶質の組織あるいはこのような主相と結晶質および／または非晶質の副相とを有する組織が得られ、その結果前述のように磁石特性が優れた磁石材料が得られるのである。

このようにして得られるリボン状の薄板は、

金属製の回転体の表面に、ノズルから溶湯を射出して高速で急冷凝固させ、リボン状の材料を得る方法であり、ディスク法、単ロール法（片ロール法）、双ロール法等があるが、この発明の場合には前記のように片ロール法、すなわち1個の回転ロールの周面上に溶湯を射出する方法が最も適当である。

なお、アトマイズ法、溶射法等の高速急冷法を用いてもよい。

片ロール法を用いる場合、回転冷却ロールの周速度は $2\sim 50\text{ m/s}$ 、より好ましくは $3\sim 20\text{ m/s}$ とすることが好ましい。

このような周速度とするのは、 $2\text{ m/s}$ 未満では得られる薄帯の大部分が結晶化しており、平均結晶粒径も $3\mu\text{m}$ と大きくなるすぎるからであり、 $50\text{ m/s}$ を超えると薄帯のほとんどが非晶質化しており、配向度が低下するからである。

なお、本発明組成は、準安定相である $R_2Fe_{10}B_{10}$ （金属間化合物）組成に近い

一般に $20\sim 80\mu$ 程度の厚さのものである。

急冷後の組織は急冷条件により異なるが、微結晶またはこれと非晶質との混合組織からなるが、さらには適宜用いられる熱処理、すなわち焼鈍により、その微結晶または非晶質と微結晶からなる組織およびサイズをさらにコントロール出来、より高い高特性が得られる。

液体急冷法によって急冷凝固された磁石材料は、場合によって前述のように熱処理、すなわち焼鈍する。このような焼鈍熱処理を施すことによって、この発明で対象とする成分の急冷磁石材料では、さらに安定した特性が容易に得られる。得られたリボン状の磁石材料を、好ましくは $30\sim 500\mu\text{m}$ の粒径に粉砕して粉体の磁石材料とし、冷間プレスまたは温間プレスすることにより高密度のバルク体磁石とすることが出来る。なお、前記熱処理と高密度化を温間プレスを用いて同時に行うこともできる。

さらに本発明の永久磁石材料は、粉末結合法、すなわち液体急冷法により得たリボンまたは粉末を必要ならばさらに焼鈍処理および粉砕した後に、樹脂等のバインダーで結合していわゆるボンディッド磁石とすることが出来る。

従来の高速急冷法により得られたリボン状の磁石あるいは、それを粉砕後バルク体となした磁石およびボンディッド磁石は特開昭59-211549号公報に開示されている。しかし従来の磁石はJ.A.P. 80(10), vol 15 (1986) 3885頁に示されるように飽和磁化まで着磁させるためには、40 kOe以上110 kOeにもおよび着磁磁場が必要であるが、本発明におけるZr, Ti等を含有させた磁石合金は15~20 kOeで十分飽和磁化まで着磁可能であるという利点を有し、そのため15~20 kOeでの着磁後の特性は大幅に改良される。

液体急冷法により得られたリボン状の磁石

~20000 Kg/cm<sup>2</sup>が好ましい。

さらにこのように異方性化された磁石もボンディッド磁石として使用される。

#### V 発明の具体的作用効果

本発明の永久磁石材料は高い配向度を有し、高保磁力、高エネルギー積を示し、実用に適した高性能の永久磁石の材料として好適に用いることができる。

そして、高速急冷法を適用して本発明の永久磁石材料を製造すれば、平衡相以外に非平衡相を用いることが可能であり、高い配向度を得るためにR含有量が5以上9原子%以下と少なくとも、高強留磁化、高配向度を示し、実用に適した高性能の永久磁石材料が得られる。

さらに、本発明の永久磁石材料は、高い配向度を有するので、その薄帯や粉体を他の組成のものと混合、成形して、これに熱拡散処理を施すことにより、高い配向度を保持しながら、さらに磁気特性を向上させることもできる。

材料を直接もしくは粉砕した後の塑性加工等を用いて高密度かつ異方性化することにより約2~3倍の磁石特性の向上が見られる。

この塑性加工時の温度・時間条件は、焼鈍に関して説明した微結晶相が得られ、粗粒化を妨げるように選択する必要がある。この点に関し、本発明におけるNb, Zr, Ti, V等の添加元素Mは結晶成長を抑制し、高温、長時間でも保磁力を劣化させず高い保磁力が得られるため温間塑性加工条件を改善するという利点を有している。

塑性加工法はホットプレス、押出し、圧延、スクエージ、鍛造などにより行なわれる。ホットプレスの条件は550~1100℃、200~5000 Kg/cm<sup>2</sup>が好ましい。特性上はホットプレス、押出加工が好ましい。ホットプレスは一次プレスだけでもよいが、さらに2次プレスを行うと、良好な磁石特性が得られる。

押出し成形の場合500~1100℃、400

#### VI 発明の具体的実施例

以下、本発明の具体的実施例を示し、本発明を詳細に説明する。

##### 実施例1

表1に示す組成(数値は原子百分率を表わす)の合金をアーク溶解により作製した。得られた合金を溶湯急冷法を用いて30~60 μm厚に薄帯化した。10~20 m/秒で回転するロール表面に石英ノズルを介して溶湯合金をアルゴンガス圧(噴出圧力: 0.2~2 kg/cm<sup>2</sup>)で射出冷却して薄帯サンプルを得た。

これらの薄帯サンプルの断面を電解研磨した後、走査型電子顕微鏡(SEM)により観察したところ、正方晶の主相と副相の存在が確認された。

これらについてX線回折を行ない、(004)のピーク高さ/(410)のピーク高さを求めた。

また、上記の薄帯サンプルを粉砕して粒径30~500 μmの粉体を得た。

さらに、この粉体を溶融パラフィンと混合して一方向磁界中で配向し、冷却してパラフィン中に固定した。

このものの残留磁化 ( $B_r$  および  $B_r'$ )、保磁力 ( $i H_c$ )、最大エネルギー積 ( $(BH)_{max}$ ) を測定し、配向度 ( $B_r / B_r'$ ) を求めた。残留磁化は、振動型磁力計により測定した。

なお、 $B_r$ 、 $i H_c$ 、 $(BH)_{max}$  は配向方向の値であり、 $B_r'$  は配向方向と垂直方向の残留磁化の値である。

結果を表1に示す。

表 1

サンプル No.	組 成	(004)/(410) (フリー面)	$B_r$ (kG)	$B_r'$ (kG)	$B_r / B_r'$	$i H_c$ (kOe)	$(BH)_{max}$ (MGoe)
1 (本発明)	7Nd-10B-balFe	12.1	9.8	3.1	3.16	4.2	11.3
2 (本発明)	7Nd-10B-0.7Zr-balFe	9.5	9.5	3.8	2.50	5.3	13.8
3 (本発明)	7Nd-10B-1.5Zr-balFe	5.7	9.1	6.5	1.40	7.2	14.6
4 (比較)	7Nd-10B-2.3Zr-balFe	0.3	7.7	7.3	1.05	8.0	9.7
5 (本発明)	5Nd-9B-1Zr-balFe	7.2	9.9	3.3	3.00	2.3	11.8
6 (本発明)	7Nd-9B-1Zr-balFe	10.3	9.8	4.2	2.33	4.6	12.9
7 (本発明)	9Nd-9B-1Zr-balFe	5.4	9.4	7.8	1.21	8.5	14.4
8 (比較)	3Nd-9B-1Zr-balFe	0.5	8.7	8.2	1.06	0.3	0.5
9 (比較)	10Nd-9B-1Zr-balFe	0.2	8.5	8.3	1.02	9.8	12.8
10 (本発明)	7Nd-6B-1Zr-balFe	6.9	9.9	4.5	2.20	3.9	11.4
11 (本発明)	7Nd-10B-1Zr-balFe	9.8	9.6	3.0	3.20	6.7	14.7
12 (本発明)	7Nd-14B-1Zr-balFe	8.7	9.4	5.4	1.74	9.2	12.8
13 (比較)	7Nd-4B-1Zr-balFe	0.9	8.7	8.1	1.07	1.5	3.3
14 (比較)	7Nd-16B-1Zr-balFe	0.7	7.9	7.7	1.03	12.3	4.7



表1より本発明の効果が明らかである。

なお、下記の組成においても表1に示すものと同等の効果が得られた。

5.5Nd-12B-1.5Nb-balFe

5.5Nd-10B-1.5V-0.5W-balFe

5.5Nd-8B-1Cr-0.5Hf-10Co-balFe

7Nd-8B-0.5Zr-0.5Ti-balFe

7Nd-6B-0.5Nb-0.5Mo-balFe

7Nd-12B-11r-0.5Cr-20Co-balFe

7Nd-10B-0.5Ti-0.5Hf-50Co-balFe

7Nd-8B-balFe

8.5Nd-9B-10Co-balFe

8.5Nd-11B-1Cr-0.5Ta-balFe

8.5Nd-13B-2Nb-30Co-balFe

特許出願人 ティーディーケイ株式会社

代理人 弁理士 石井 陽 一

